

Datación de eventos tectónicos mediante integración de geocronología K-Ar y análisis de paleoesfuerzos en el Domo del Tormes

L. Antón¹, A. Muñoz Martín¹, G. de Vicente¹ y C. Galindo²

1 Dpto. de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, Jose Antonio Novais s/n 28040 Madrid.
loreant@geo.ucm.es

2 Dpto. de Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, Jose Antonio Novais s/n, 28040 Madrid.

ABSTRACT

The present paper deals with K-Ar absolute dating performed on three fault gouges structures selected across the geological structure known as the Domo del Tormes (Zamora-Salamanca, Spain). The dating performed on five clay samples, with grain size of 0,2-0,4mm and <0,2mm, provides ages from 210 ± 11 to $86,9 \pm 4,3$ Ma. The interpretation of the results obtained by both geocronological and fault population analysis methods contributed relevant data to ascertain the age of the various palaeostress fields defined in the study area, with maximum horizontal compression oriented E-W and NE-SW.

Key words: K-Ar dating, palaeostress, tectonic events, Domo del Tormes.

INTRODUCCIÓN

Las reacciones químicas causadas por las variaciones de presión y temperatura durante el movimiento de las fallas, así como las interacciones con fluidos que circulan a favor de las mismas, da lugar a la cristalización/recristalización de determinados minerales susceptibles de ser datados que, en condiciones frágiles, son principalmente minerales de la arcilla. De este modo, datar mediante geocronología absoluta los minerales de la arcilla asociados al movimiento de la falla, proporciona información sobre la edad de actividad de la estructura que dio lugar a la formación de arcillas.

El disponer de indicadores cinemáticos medidos sobre la arcilla de falla implica que la estructura ha sido activa durante o con posterioridad al desarrollo de la misma. El cálculo del tensor de esfuerzos que explica los datos tomados exclusivamente sobre la arcilla permite calcular un tensor para este movimiento. La comparación de este resultado con el obtenido en la estación cinemática tomada en el entorno de la estructura, y apoyada por el análisis de las orientaciones y cinemática de pares plano/estría, permite relacionar el movimiento de la falla con un determinado tensor y, a su vez, con un campo de paleoesfuerzos.

ENCUADRE GEOLÓGICO Y SITUACIÓN DE LAS MUESTRAS

La zona de estudio se centra fundamentalmente en la megaestructura hercínica conocida como Domo del Tormes, situada en el NO de la Península Ibérica, al SO de la provincia de Zamora y NO y centro-oeste de la de Salamanca.

Petrológicamente, los materiales de la zona pertenecen a

dos grandes grupos: rocas anatécicas predominantemente mesocorticales, localizadas dentro del Domo del Tormes y otras de origen infracortical, que intruyen esencialmente al sur de la Cizalla de Juzbado, fuera de la estructura. (Martínez Fernández, 1974a y b; García de Figuerola *et al.*, 1992) Las cuatro muestras datadas (H26-1, H26-2, H31 y H35) se localizan en estructuras de tipo *fault gouges* en el macizo granítico de Sayago-Salamanca, situado en la mitad occidental del área de estudio, en las estaciones cinemáticas 26, 31 y 35 (Fig. 1). La edad del macizo granítico de Sayago-Salamanca, determinada por el método Rb-Sr (García Garzón y Locutura, 1981) es de 300 ± 8 Ma.

TRABAJOS REALIZADOS

El objetivo del análisis geocronológico por K-Ar de las arcillas de falla recolectadas en el área de estudio era determinar las edades de actividad de los campos de paleoesfuerzos definidos en la zona, responsables del movimiento de los sistemas de fallas presentes (Antón, 2003). Este muestreo se complementó con la toma de datos cinemáticos, tanto en el entorno de la estructura, sobre materiales graníticos del Domo del Tormes (estaciones 26, 31 y 35), como en la zona de máxima trituración (sobre la arcilla de falla). Estos datos han permitido calcular el tensor de esfuerzo para las estaciones donde se recogieron las muestras. En una etapa posterior, como apoyo a la interpretación de las dataciones absolutas, se realizaron observaciones adicionales sobre las zonas de falla trituradas, con toma de datos cinemáticos en la brecha de falla y sobre el material arcilloso. El análisis geocronológico se ha realizado en concentrados minerales del grupo de la arcilla (fracciones



FIGURA 1. Situación de las estaciones cinemáticas donde se muestrearon las arcillas (26, 31 y 35) y estaciones utilizadas para el cálculo de paleoesfuerzos.

< 0,2 mm y 0,2-0,4 mm) previo estudio por diversas técnicas de caracterización mineral (DRX, TEM, etc) (Fig. 2).

INTEGRACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los campos de paleoesfuerzos definidos en la zona presentan orientaciones de máxima compresión horizontal N-S, NE-SO y E-O (Antón, 2003). Cada una de las muestras datadas corresponde a una estación de toma de datos cinemáticos en la que se ha definido un tensor de esfuerzos (Fig. 3) que, a su vez, está asociado a uno de estos tres campos de paleoesfuerzos. De forma complementaria, se han medido estrías de movimiento sobre la propia arcilla de falla lo que implica que la actividad del tensor al que se asocian es coetánea con la alteración hidrotermal, si asumimos que ésta va asociada al movimiento de la falla, o posterior a ella. Todos estos resultados se presentan en la figura 3.

La muestra H31 se asocia a una zona de fracturación de dirección N130-150°E y con buzamiento de 60-70°NE que se encuentra en la estación cinemática 31, en la que se ha definido un único tensor asociado al campo de paleoesfuerzos E-O. Los indicadores cinemáticos medidos sobre la arcilla son coherentes con este tensor (Fig. 3). Para la muestra H31 únicamente se dató la fracción menor de 0,2 mm, obteniendo una edad de 210 ± 11 . Los análisis realizados en el TEM indican que la muestra está compuesta mayoritariamente por esmectitas con cargas laminares inferiores a 1.

Meunier (1995) afirma que pulsos hidrotermales cortos favorecen la formación de arcillas expansivas de baja carga (esmectitas), mientras que las especies no expansivas cristalizan en sistemas en los que los fluidos circulan durante periodos más largos. Según esto, las características compo-

sicionales de la fracción <0,2 mm de H31 podrían indicar una alteración hidrotermal de bajo grado, donde las condiciones de presión y temperatura no han sido muy elevadas. Por ello, la actividad del campo de paleoesfuerzos E-O se asocia a la edad obtenida en la fracción <0,2 mm de H31, 210 ± 11 Ma.

En la estación 26 se detectaron dos estructuras con arcilla de falla (H26-1 y H26-2), con una separación de 11 m entre ambas. Las zonas de fracturación a las que se asocia las arcillas de falla tienen una dirección N100-110°E y un buzamiento de 70-75°N en el caso de H26-1 y de 60°S para H26-2. El tensor obtenido en la estación 26 se asocia al campo de paleoesfuerzos NE-SO (Fig. 3). Dado que los datos cinemáticos tomados en esta estación corresponden a un único campo de paleoesfuerzos que se ha registrado además sobre la arcilla de falla datada, es de esperar que el movimiento de la falla haya sido sincrónico o, en todo caso, posterior a la alteración hidrotermal. Numerosos autores (Hunziker *et al.*, 1986; Clauer *et al.*, 1995; Vrolijk y Van der Pluijm, 1999; entre otros) coinciden en que los minerales de la arcilla autigénicos se concentran en las fracciones más finas, por lo que son éstas las más adecuadas para ser datadas si se quiere registrar el último evento hidrotermal. Asumiendo esto, la edad de la fracción <0,2 mm es la que representa los procesos de neoformación mineral y es la que indica la edad del último evento termo-deformacional asociado a la falla, relacionado con el campo de paleoesfuerzos NE-SO, en 120 ± 6 Ma.

El análisis geocronológico de las fracciones 0,2-0,4 mm de las muestras H26-1 y H26-2 proporcionó edades de 185 ± 9 Ma y 162 ± 8 Ma, respectivamente. En el caso de H26-1, los análisis composicionales realizados en esta fracción no indican la presencia de minerales heredados de la roca caja (Antón, 2003); sin embargo, la dispersión en la composición de las partículas es bastante grande, desde esmectitas con cargas laminares de 0,4 hasta illitas con cargas de 1,8; esto podría indicar la presencia de minerales de la arcilla derivados de una historia compleja con dos o más eventos hidrotermales. En el caso de la muestra 0,4-0,2 mm de H26-2, tampoco se ha puesto de manifiesto la presencia de minerales heredados de la roca caja pero, en este caso, la



FIGURA 2. Proceso analítico seguido para la datación geocronológica mediante K-Ar e interpretación de resultados.

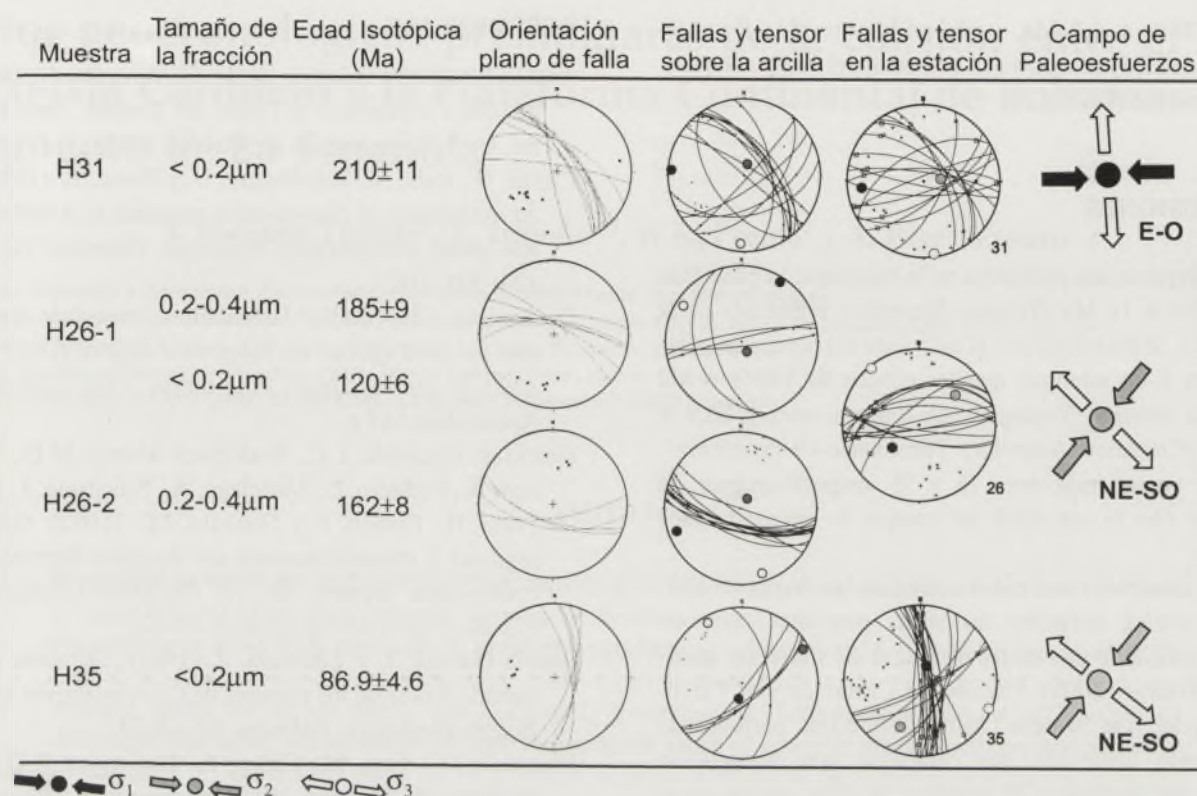


FIGURA 3. Resultados obtenidos mediante la datación, cinemática y dinámica de la estructura donde se tomaron las muestras y campo de paleoesfuerzos con el que se relaciona.

dispersión en la composición de las muestras es mucho menor, por lo que no se dispone de elementos para pensar en la existencia de minerales de dos generaciones, si bien se detectó la presencia de un cristal de mica durante el estudio de la fracción <0,2 mm en el TEM, lo que no permite descartar que pudiera existir también contaminación en la fracción intermedia 0,4-0,2 mm, por lo que es probable que la edad obtenida corresponda a una edad mixta.

Si lo que se pretende es datar el último evento hidrotermal, éste estará mejor representado en la fracción más fina, ya que las fracciones mayores tienen más posibilidades de contener minerales heredados de la roca caja o minerales de la arcilla formados en eventos hidrotermales previos, en cuyo caso, la edad obtenida correspondería a una edad mixta sin un significado geológico claro. En este caso concreto, si se descarta la contaminación de en las fracciones 0,4-0,2mm, especialmente en el caso de H26-1, donde no se tienen evidencias de contaminación de la muestra con minerales heredados de la roca caja, la edad obtenida podrían representar bien un evento hidrotermal previo que no ha quedado reflejado cinemáticamente, bien una edad intermedia (mixta) entre un evento más antiguo y el más reciente registrado en esa estación (120 ± 6 Ma). Según Vrolijk y Van der Pluijm (1999), los tres procesos que pueden modificar la edad aparente de las arcillas en una falla son: 1) Pérdidas de Ar por difusión durante el proceso de fracturación

causando el *resetting*, total o parcial, del reloj K-Ar. 2) Crecimiento de nuevas arcillas que "diluyan" la edad del material preexistente. 3) Disolución de las arcillas preexistentes y crecimiento de nuevos cristales durante la fracturación, causando una edad media que irá siendo más reciente con el progreso de la reacción.

El asumir la existencia de una edad mixta entre un evento anterior y el más reciente registrado, implica que la estructura fue activa con anterioridad. En el caso de las estructuras medidas en la estación 26 (H26-1 y 2) hay que tener en cuenta que, aunque las cinemática de las fallas registradas en campo es compatible con un tensor NE-SO, la geometría y orientación de las estructuras no es indicativa de un proceso de neoformación, sino de una reactivación de estructuras previas. Esto resulta coherente con el hecho de haber obtenido edades de 185 ± 9 Ma, en H26-1, y de 162 ± 8 Ma, en H26-2 (Fig. 3).

La muestra H35 se relaciona con una estructura de orientación dirección N10°O-10°E y buzamiento de 55-65°E que corresponde a la estación cinemática 35, donde se han obtenido dos soluciones tensoriales asociadas a los campos de paleoesfuerzos E-O y NE-SO. El análisis de los indicadores cinemáticos medidos sobre la arcilla de falla los asocia al campo de paleoesfuerzos NE-SO. Al igual que en H31, la muestra está compuesta mayoritariamente por esmectitas con cargas laminares inferiores a 1; por lo que la

edad de $86,9 \pm 4,3$ Ma, correspondiente a la fracción $<0,2$ mm de H35, se asocia a la actividad del campo de paleoesfuerzos NE-SO (Fig. 3).

CONCLUSIONES

La interpretación propuesta es la siguiente: la edad más antigua 210 ± 11 Ma (Triásico Superior), registrada en la estación 31, se relaciona con la actividad del campo de paleoesfuerzos E-O; mientras que las edades de 120 ± 6 Ma (Cretácico Inferior, Valanginiense-Barremiense) y $86,9 \pm 4,3$ Ma (Cretácico Superior, Turoniense-Campaniense), obtenidas en las estaciones 26 y 35, respectivamente, se relacionan con la actividad del campo de paleoesfuerzos NE-SO.

Estos resultados son coherentes con las etapas de actividad tectónica definidas en zonas próximas (Sistema Central) mediante el estudio de trazas de fisión en apatitos (De Bruijne, 2001). Durante el Cretácico y el Paleógeno inferior, De Bruijne (2001) define tres períodos de enfriamiento acelerado que relaciona con denudación inducida por tectónica. El primero de ellos ocurre en el Cretácico Inferior (125 ± 15 Ma) lo que concuerda con la edad de 120 ± 6 Ma obtenida mediante K-Ar. El segundo periodo de actividad, registrado en la Sierra de Guadarrama, ocurre en el Cretácico Superior (88 ± 12 Ma) y es coherente con la edad de $86,9 \pm 4,3$ Ma obtenida en las dataciones.

En cuanto a las edades obtenidas en las fracciones 0,4-0,2 mm (185 ± 9 Ma, en H26-1, y de 162 ± 8 Ma, en H26-2) tanto si se interpretan como eventos previos o como edades mixtas, estarían indicando que las estructuras medidas en la estación 26 existían durante o con anterioridad al Jurásico Inferior-Medio; lo que, teniendo en cuenta su geometría y orientación, hace pensar que fueron activas bajo el campo de paleoesfuerzos E-O, aunque no se han detectado evidencias cinemáticas que avalen esta hipótesis.

REFERENCIAS

- Antón, L. (2003): *Análisis de la fracturación en un área granítica intraplaca: el Domo del Tormes*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 195 p.
- Clauer, N., Rais, N., Schaltegger, U. y Piqué, A. (1995): K-Ar systematic of clay-to-mica minerals in a multi-stage low-grade metamorphic evolution. *Chemical Geology*, 124: 305-316.
- De Bruijne, CH. (2001): *Denudation, intraplate tectonics and far field effects; an integrated apatite fission track study in central Spain*. PhD thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam, 164 p.
- García de Figuerola, L.C., Rodríguez Alonso, M.D., Carnicero A., Pellitero, E., Murciego, A., Navarrete, J., López Plaza, H., Franco, P. y Gonzalo, J.C. (1992): Geología regional y mineralizaciones del dominio Hercínico del centro-oeste español. En: *III Congreso Geológico de España*. Guías de excursiones: 49-62.
- García Garzón, J. y Locutura, J. (1981): Datación por el método Rb-Sr de los granitos de Ciervos-Puerto Seguro. *Boletín Geológico y Minero*, 92: 68-72.
- Hunziker, J.C., Frey, M., Clauer, N., Dallmeyer, R.D., Friedrichsen, H., Flehmig, W., Hochstrasser, K., Roggwiler, P. y Schwander, H. (1986): The evolution of illite to muscovite: mineralogical and isotopic data from the Glarus Apls, Switzerland. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92: 157-180.
- Martínez Fernández, F.J. (1974a): *Estudio del área metamórfica y granítica de los Arribes del Duero (Provincias de Salamanca y Zamora)*. Tesis Doctoral, Univ. Salamanca, 289 p.
- Martínez Fernández, F.J. (1974b): Petrografía, Estructura y Geoquímica de los diferentes tipos de granitos del NO de Salamanca. *Trabajos de Geología*, 7: 61-142.
- Meunier, A. (1995): Hydrothermal alteration by Veins. En: *Origin and Mineralogy of Clays. Clays and the environment*. (B. Velde, Ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 247-267.
- Vrolijk, P. y van der Pluijm, B.A. (1999): Clay Gouge. *Journal of Structural Geology*, 21: 1039-1048.